

13.08.2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2003年 8月21日

出 願 番 号
Application Number: 特願2003-297330

[ST. 10/C]: [JP 2003-297330]

出 願 人
Applicant(s): 日本電気株式会社

REC'D 10 SEP 2004

WIPO

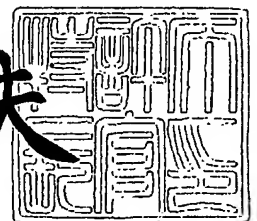
PCT

PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

2004年 4月22日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願
【整理番号】 33510017
【提出日】 平成15年 8月21日
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 G02F 1/35
G02F 1/313

【発明者】
【住所又は居所】 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内
【氏名】 中村 滋

【特許出願人】
【識別番号】 000004237
【氏名又は名称】 日本電気株式会社

【代理人】
【識別番号】 100123788
【弁理士】
【氏名又は名称】 宮崎 昭夫
【電話番号】 03-3585-1882

【選任した代理人】
【識別番号】 100088328
【弁理士】
【氏名又は名称】 金田 暢之

【選任した代理人】
【識別番号】 100106297
【弁理士】
【氏名又は名称】 伊藤 克博

【選任した代理人】
【識別番号】 100106138
【弁理士】
【氏名又は名称】 石橋 政幸

【国等の委託研究の成果に係る記載事項】 平成15年度、新エネルギー・産業技術総合開発機構、フェムト秒テクノロジーの研究開発に関する委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受ける出願

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 201087
【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】
【物件名】 特許請求の範囲 1
【物件名】 明細書 1
【物件名】 図面 1
【物件名】 要約書 1
【包括委任状番号】 .0304683

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

非線形屈折率変化を示す非線形光学素子をそれぞれ第 1 のアームおよび第 2 のアームに配置したマッハ・ツェンダー型光回路を用いた全光スイッチにおいて、

NRZ 信号光を入力する第 1 の手段と、

搬送光を入力する第 2 の手段と、

前記第 2 のアームに入射される前記 NRZ 信号光を、前記第 1 のアームに入射される前記 NRZ 信号光よりも減衰させる第 3 の手段と、

前記第 2 のアームに入射される前記 NRZ 信号光を、前記第 1 のアームに入射される前記 NRZ 信号光よりも、前記非線形屈折率変化の緩和時間よりも短い所定の時間だけ遅延させる第 4 の手段を有することを特徴とする全光スイッチ。

【請求項 2】

前記第 1 の手段と前記第 2 の手段は、前記 NRZ 信号光と前記搬送光が逆方向に伝搬するように設けられている、請求項 1 に記載の全光スイッチ。

【請求項 3】

前記搬送光は、無変調連続光である、請求項 1 または 2 に記載の全光スイッチ。

【請求項 4】

前記搬送光は、前記 NRZ 信号光と同期したクロックパルス光である、請求項 1 または 2 に記載の全光スイッチ。

【請求項 5】

前記第 4 の手段は、前記第 2 のアームの前記非線形光学素子へ至る光路が、前記所定の時間に対応する光路長だけ、前記第 1 のアームの前記非線形光学素子へ至る光路よりも長い前記第 2 のアーム自身である、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の全光スイッチ。

【書類名】明細書

【発明の名称】全光スイッチ

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ通信や光情報処理の分野で波長変換器に用いられる全光スイッチに関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ通信システムの飛躍的な伝送容量増大や運用効率向上に向け、光電変換を介さず光領域で信号処理を行う技術の開発が活発化している。光領域で信号処理を行うには全光スイッチが必要である。特に、光ファイバ通信システムのノードにおいて波長クロスコネクト機能を提供する波長変換器への期待は高い。

【0003】

RZ (Return to Zero) 形式のデータ変調光信号で駆動する全光スイッチとして、半導体光増幅器 (SOA) を共鳴励起して得られる高効率な非線形光学効果を利用し、さらに、このSOAをマッハ・ツェンダー型光回路に組み込んで動作原理を工夫することで高速性をも兼ね備えた全光スイッチが提案されている。例えば、特開平7-20510号公報 (特許文献1)、および、田島一人著「ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス」誌 (Japanese Journal of Applied Physics)、第32巻、第L1746頁~第L1749頁、1993年 (非特許文献1)。以下、この全光スイッチを従来例1とする。

【0004】

従来例1による全光スイッチの構成図を図7に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12 (SOA) が配置されている。この全光スイッチには、RZ形式でデータ変調された信号光パルス (波長 λ_1)、および、無変調連続 (CW) 光 (波長 λ_2) が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光パルスは、ポート17より入力され、3dBカプラ20で分岐された後、一方は、可変遅延回路21、可変減衰器22、3dBカプラ15を通過して非線形導波路素子11へ入力される。他方は、可変減衰器23、3dBカプラ16を通過して非線形導波路素子12へ入力される (なお、図7ではこの2つのパスの光路長が異なるように図示されているが、これは図示の便宜のためである)。可変遅延回路21を調整することにより、非線形導波路素子11、12に入力される信号光パルスには時間差 ΔT がつけられる。信号光パルスは、反転分布状態にある非線形導波路素子11、12 (SOA) において、キャリア密度を誘導放出により減少させ、非線形導波路素子11、12の屈折率を変化させる。他方、波長 λ_2 のCW光は、ポート18へ入力され、3dBカプラ13でいったん分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる屈折率変化 (非線形位相シフト) を受ける。非線形導波路素子11、12を通過したCW光は、3dBカプラ14で再び合波されることによってRZデータ変調信号光となり、波長変換光としてポート19から出力される。

【0005】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光パルスの入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光パルスがポート19から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光パルスの入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のCW光が3dBカプラ14で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0006】

信号光パルスが入力され、非線形導波路素子11において非線形屈折率変化が生じると、非線形導波路素子11を通過する波長 λ_2 のCW光が非線形位相シフトを受け、ポート19からの波長 λ_2 の光出力がオンとなる。

【0007】

ここで、RZ形式の信号光パルスが非線形導波路素子においてキャリア密度を減少させる誘導放出過程は、信号光のパルス幅程度の間だけ継続する。このため、キャリア密度変化あるいは非線形屈折率変化の立ち上がりには要する時間は信号光パルス幅程度である。これに対し、非線形屈折率変化の緩和時間、すなわち、もとの反転分布状態へ戻るキャリア寿命は通常100psから1ns程度と遅い。しかし、この全光スイッチでは、波長 λ_1 の信号光のパルス幅にはほぼ等しい時間 ΔT の後、非線形導波路素子12に信号光パルスを入力し、非線形屈折率変化を生じさせることにより、長いキャリア寿命に依存しないスイッチング動作を行う。すなわち、マッハ・ツェンダー型光回路の両アームを通過する波長 λ_2 のCW光も非線形位相シフトを受け、3dBカップラ14で干渉する際の位相差は初期状態の半波長に戻り、ポート19からの波長 λ_2 の光出力がオフとなる。つまり、波長 λ_2 の光出力はパルス幅 ΔT を有するRZデータ変調光となる。このようにして、波長 λ_1 の信号光パルス列を入力して波長 λ_2 のデータ変調光パルス列を得る波長変換動作が実現される。

【0008】

また、NRZ (Non Return to Zero) 形式のデータ変調光信号で駆動する全光スイッチも、ラトベロマナナ著「アイ・イー・イー・イー・フォトンクス・テクノロジー・レターズ」誌 (IEEE Photonics Technology Letters)、第7巻、第992頁～第994頁、1995年 (非特許文献2) に提案されている。参照。以下、この全光スイッチを従来例2とする。

【0009】

従来例2による全光スイッチの構成図を図8に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12 (SOA) が配置されている。この全光スイッチには、NRZ形式でデータ変調された信号光 (波長 λ_1)、および、無変調の連続 (CW) 光 (波長 λ_2) が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光は、ポート31へ入力され、カップラ33で分岐された後、一方は非線形導波路素子11へ入力され、他方は非線形導波路素子12へ入力される。カップラ33における分岐比は非対称になっており、非線形導波路素子11に入力される信号光強度は、非線形導波路素子12に入力される信号光強度より大きい。これにより、非線形導波路素子11において引き起こされる屈折率変化 (非線形位相シフト) が非線形導波路素子12において引き起こされる屈折率変化より大きくなる。他方、波長 λ_2 のCW光はポート32へ入力され、カップラ33で分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる非線形位相シフトを受ける。非線形導波路素子11、12を通過したCW光はカップラ34で再び合波されることによりNRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート35から出力される。

【0010】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート35から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のCW光がカップラ34で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される (なお、カップラ33における分岐比は非対称であるが、CW光の場合、SOAを通過する時点で、利得飽和のため両アームの強度は等しくなることが予想される。また、カップラ34の直前に強度調整器を設けたり、カップラ34の分岐比を調整したりすることにより、初期状態において出力をゼロにできる)。

【0011】

信号光が入力されると、非線形導波路素子11、12においてそれぞれ非線形屈折率変化が生じる。両アームを通過する波長 λ_2 のCW光は異なる非線形位相シフトを受けるため、カップラ34で干渉する際の位相差が変化することになる。したがって、ポート35からの波長変換光の出力がオンとなる。信号光の入力がない状態に戻ると、非線形導波路素子におけるキャリア密度は回復し、波長変換光の出力はオフに戻る。キャリア密度が回復し非線形屈折率変化が緩和する過程はキャリア寿命で定まる。

【0012】

NRZ信号光が非線形導波路素子に入力される場合、RZ信号光が入力される場合と異なる点は、信号光の入力がオフからオンに切り替わる過程のキャリア密度変化もキャリア寿命で定まることである。NRZ信号光が入力される場合、信号光の継続時間は少なくとも1ビットのタイムスロット程度と長いため、信号光の入力が継続する間に、非線形導波路素子内のキャリア密度は定常状態に向かい、その時定数はキャリア寿命となる。

【特許文献1】特開平7-20510号公報

【非特許文献1】田島一人著「ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス」誌 (Japanese Journal of Applied Physics)、第32巻、第L1746頁~第L1749頁、1993年

【非特許文献2】ラトベロマナナ著「アイ・イー・イー・イー・フォトンクス・テクノロジー・レターズ」誌 (IEEE Photonics Technology Letters)、第7巻、第992頁~第994頁、1995年

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

光ファイバ通信では、高ビットレートの伝送でRZ信号が使われる傾向にあるものの、NRZ信号光が使われることが多い。しかし、従来例1の全光スイッチでは、RZ信号光による駆動のみが考慮されている。すなわち、非線形導波路素子11で信号光パルスが引き起こす屈折率変化により両アーム間の位相差が変化した後、非線形導波路素子12で信号光パルスが引き起こす屈折率変化により両アーム間の位相差は初期状態に戻る。ここで、RZ信号光ではなくNRZ信号光を入力する場合を考えると、信号光入力強度がゼロでない状態では非線形導波路素子11にも非線形導波路素子12にも信号光が入力され続けるので、両アームの屈折率変化が相殺される状態となり、波長変換光の出力はオフとなる。すなわち、NRZ信号光を入力する場合には正しい波長変換光が出力されない。

【0014】

NRZ信号光で駆動する従来例2では、高いビットレートでの動作は困難と考えられる。すなわち、信号光がオフからオンに向かう過程のキャリア密度変化も、オンからオフに向かう過程のキャリア密度変化も、キャリア寿命で定まる。このため、波長変換出力光の波形は、オフからオンに向かう過程でもオフからオンに向かう過程でも裾引きを伴う。したがって、キャリア寿命が100psだとすると、これより短い時間で波形が変化する10Gbpsあるいは40GbpsといったビットレートのNRZ信号光で駆動する場合には、波長変換出力光における波形歪みが極めて大きくなる。

【0015】

本発明の目的は、キャリア寿命に依存する波長変換出力光の波形歪みを解消し、高いビットレートのNRZ信号光でも駆動可能な全光スイッチを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

上記目的を達成するために、本発明では、非線形導波路素子11と非線形導波路素子12に入射されるNRZ信号光の強度を変えて、非線形導波路素子11と非線形導波路素子12において誘起される位相変化量を変えると共に、非線形導波路素子12に入力される信号光を、非線形導波路素子11に入力される信号光よりも遅延させる（非線形導波路素子11における位相変化が裾を引き始めたところで、非線形導波路素子12における位相変化の立ち上げまたは立ち下げをもってくると、位相変化の裾の影響を効率的に相殺できる）。遅延量は、キャリア寿命または屈折率変化の緩和時間よりも小さくしなければならない。

【0017】

こうすると、NRZ信号光の入力により非線形導波路素子11と非線形導波路素子12において誘起される位相変化が異なるので、両アームの位相差は初期状態に戻ることなく、出力が得られる。また、NRZ信号光が入力され続けると各々の非線形導波路素子で生

じる位相変化量はキャリア寿命程度の時間をかけて定常状態に近づくが、非線形導波路素子 11 において誘起される位相変化が定常状態に向かう裾引き過程に入る頃に非線形導波路素子 12 における位相変化が誘起される。したがって、非線形導波路素子 11 での位相変化の裾引き過程の影響は、非線形導波路素子 12 での位相変化の立ち上がりによってある程度相殺することが可能となる。さらに、NRZ 信号光の入力がオンからオフとなる過程においても、各々の非線形導波路素子で生じる位相変化量はキャリア寿命程度の時間をかけて初期状態へ緩和するが、非線形導波路素子 11 における緩和が初期状態に向かう裾引き過程に入る頃に非線形導波路 12 における位相変化も緩和を開始する。したがって、非線形導波路素子 11 での位相変化の裾引き過程の影響は、非線形導波路 12 での位相変化の緩和によってある程度相殺することが可能となる。

【0018】

また、本発明においては、搬送光として、CW 光だけでなく、NRZ 信号光と同期したクロックパルス光を用いてもよい。クロックパルス光を用いると、NRZ-RZ 変換が可能になる。

【0019】

また、搬送光と NRZ 信号光を逆方向に伝搬させるような構成をとれば、搬送光と NRZ 信号光が同じ波長でも動作可能である。

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように、本発明によれば、高いビットレートの NRZ 信号光で駆動される場合であっても、スイッチ動作がオフからオンに切り替わる過程、および、オンからオフに切り替わる過程で、非線形屈折率変化の緩和時間の影響を受けずに動作させることが可能である。これにより、従来得られなかった広い範囲のビットレートの NRZ 信号光で動作可能な全光スイッチが提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

次に、本発明の実施の形態について、図面を参照して詳細に説明する。

【0022】

本発明の第 1 の実施形態の全光スイッチの構成図を図 1 に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子 11、12 (SOA) が配置されている。この全光スイッチには、NRZ 形式でデータ変調された信号光 (波長 λ_1)、および、無変調の連続 (CW) 光 (波長 λ_2) が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれも SOA の利得領域に設定される。信号光は、ポート 17 より入力され、3 dB カプラ 20 で分岐された後、一方は、可変遅延回路 21、可変減衰器 22、3 dB カプラ 15 を通過して非線形導波路素子 11 へ入力される。他方は、可変減衰器 23、3 dB カプラ 16 を通過して非線形導波路素子 12 へ入力される。可変遅延回路 21 を調整することにより、非線形導波路素子 11、12 に入力される信号光には時間差 ΔT がつけられる。信号光は、非線形導波路素子 11、12 においてキャリア密度を減少させ、非線形導波路素子 11、12 の屈折率を変化させる。他方、波長 λ_2 の CW 光は、ポート 18 へ入力され、3 dB カプラ 13 でいったん分岐された後、非線形導波路素子 11、12 で生じる屈折率変化 (非線形位相シフト) を受ける。非線形導波路素子 11、12 を通過した CW 光は、3 dB カプラ 14 で再び合波されることにより NRZ データ変調光となり、波長変換光としてポート 19 から出力される。

【0023】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器 24、25 を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート 19 から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 の CW 光が 3 dB カプラ 14 で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0024】

図7の従来例1の全光スイッチの構成と比べ、本実施形態の全光スイッチでは、信号光としてRZデータのかわりにNRZデータが入力されている点、非線形導波路素子11、12に入力される信号光に ΔT の時間差を与える可変遅延回路21が、キャリア寿命よりも小さい値の ΔT を与える点、および、可変減衰器22、23が、非線形導波路素子12よりも非線形導波路素子11に入力される信号光の強度の方が大きくなるように設定される点異なる。

【0025】

信号光が入力され、非線形導波路素子11において非線形屈折率変化が励起されると、非線形導波路素子11を通過する波長 λ_2 のCW光が非線形位相シフトを受け、ポート19からの波長 λ_2 の光出力がオンとなる。非線形位相シフト量は、時間 ΔT が経過するまでに少なくとも $\pi/2$ 程度であり、 π に近いほうが望ましい。時間 ΔT の後、波長 λ_1 の信号光が非線形導波路素子12にも入力され、キャリア密度を減少させるとともに屈折率を変化させる。すなわち、非線形導波路素子12を通過する波長 λ_2 のCW光も非線形位相シフトを受ける。この非線形位相シフトは、非線形導波路素子11で生じていた非線形位相シフトと同符号であるが小さな値である。非線形導波路素子11で生じている非線形位相シフトも非線形導波路素子12で生じている非線形位相シフトも同じような時間変化をするので、非線形導波路素子11において非線形位相シフトが生じてから時間 ΔT 経過した以降の裾引きの部分を相殺することになる。これにより、波長 λ_2 の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

【0026】

また、本実施形態の全光スイッチでは、波長 λ_1 の信号光入力がオンからオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。すなわち、波長 λ_1 の信号光入力がオフになると、非線形導波路素子11におけるキャリア密度は回復し、やはり定常状態へ近づく。その時定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかし、時間 ΔT の後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子12への信号光入力もオフとなり、キャリア密度の回復が始まる。このキャリア密度の回復、すなわち、非線形シフト量も、非線形導波路素子11と非線形導波路素子12で同じような時間変化を示す。したがって、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 λ_2 の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。このようにして、波長 λ_1 のNRZ信号光を入力して波長 λ_2 のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

【0027】

本実施形態の全光スイッチの動作を示す波形図を図2に示す。40Gbps、NRZ形式でデータ変調された信号光が入力される。信号光が非線形導波路素子11、12へ入力される際の時間差は、可変遅延回路21を用いることによって調整され、12psに設定される。ここでは図2(a)に示すデータパターンの信号光が入力される場合を考える。信号光強度がゼロでない場合を「1」、信号光強度がゼロの場合を「0」として表わすと、図2(a)に示されたパターンは、

”01010001111001000101”

となる。この入力波形を $S_{DATA,n}(t, z=0)$ とする。ここで t は時間、 z は非線形導波路素子の長さ方向の位置を表し、 $z=0$ は導波路の入射端、 $z=L$ は導波路の出射端を表す。添え字 n は1または2を表し、1は非線形導波路素子11における信号光強度、2は非線形導波路素子12における信号光強度を表す。また、信号光と共に入力されるCW光強度を $S_{CW,n}(t, z=0)$ で表す。非線形導波路素子11および12におけるキャリア密度 $N_1(t, z)$ 、 $N_2(t, z)$ の時間変化は、下記のレート方程式に従う。

【0028】

【数 1】

$$\begin{aligned}\frac{dN_n}{dt} &= \frac{J_n}{ed} - \frac{N_n}{\tau} - A_g \cdot (N_n - N_0) \cdot \frac{S_{DATA,n}}{h\nu} - A_g \cdot (N_n - N_0) \cdot \frac{S_{CW,n}}{h\nu} \\ \frac{dS_{DATA,n}}{dz} &= \Gamma \cdot A_g \cdot (N_n - N_0) \cdot S_{DATA,n} \\ \frac{dS_{CW,n}}{dz} &= \Gamma \cdot A_g \cdot (N_n - N_0) \cdot S_{CW,n}\end{aligned}$$

【0029】

ここで、 J_n は注入電流密度、 e は単位電荷、 τ は光入力がない状態でのキャリア寿命、 A_g は微分利得係数、 N_0 は利得を生じるキャリア密度、 h はプランク定数、 ν は光周波数、 Γ は光閉じ込め係数である。 $S_{DATA,n}$ 、 $S_{CW,n}$ における添え字 n は 1 または 2 を表し、1 は非線形導波路素子 11 における量、2 は非線形導波路素子 12 における量を表す。

【0030】

CW光が受ける非線形位相シフトは、非線形導波路素子におけるキャリア密度 N_n (t 、 z) を長さ方向に積分した量

【0031】

【数 2】

$$N_{tot,n}(t) = \int_0^L N_n(t, z) dz$$

【0032】

の信号光入力がない状態からの変化に比例する。図 2 (b) において、非線形導波路素子 11 における $N_{tot,1}(t)$ を実線で、非線形導波路素子 12 における $N_{tot,2}(t)$ を点線で表す。CW光が受ける非線形位相シフト $\phi_n(t)$ は、

【0033】

【数 3】

$$\phi_n(t) = k \cdot (N_{tot,n}(t) - M_{tot,n})$$

【0034】

で与えられる。ここで、 k は比例定数、 $M_{tot,n}$ は、信号光入力がない状態で、非線形導波路素子におけるキャリア密度を長さ方向に積分した量である。

【0035】

全光スイッチからの波長 λ_2 の出力光強度は、

【0036】

【数 4】

$$\begin{aligned}S_{out}(t) &= \frac{1}{2} S_{CW,1}(t, z=L) + \frac{1}{2} S_{CW,2}(t, z=L) \\ &+ \sqrt{S_{CW,1}(t, z=L) \cdot S_{CW,2}(t, z=L)} \cos(\phi_1(t) - \phi_2(t) + \Delta\phi)\end{aligned}$$

【0037】

で与えられる。ここで、 $\Delta\phi$ は、位相調整器 24、25 によって設定される両アーム間の位相差である。 $\phi_1(t)$ と $\phi_2(t)$ が同一のキャリア寿命 τ によって同じ時間変化をし、さらに、非線形導波路素子 11 における $N_{tot,1}(t)$ が裾を引き始めたところで、非線形導波路素子 12 における $N_{tot,2}(t)$ が立ち上がるので、 $\phi_1(t)$ の裾引きがか

なりの程度相殺される。

【0038】

図2(c)に、出力光強度 $S_{out}(t)$ のアイパターンを示す。良好なアイ開口が得られていることがわかる。なお、信号光を両アームの非線形導波路素子11、12へ入力する際の時間差 ΔT は、非線形屈折率変化の緩和時間に対応した値に設定されるので、動作ビットレートによって変える必要はない。すなわち、同一の構成により、ビットレート無依存動作が可能である。

【0039】

本発明の第2の実施形態の全光スイッチの構成図を図3に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12(SOA)が配置されている。この全光スイッチには、NRZ形式でデータ変調された信号光(波長 λ_1)、および、無変調の連続(CW)光(波長 λ_2)が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光は、ポート31へ入力されカプラ33で分岐された後、一方は非線形導波路素子11へ入力され、他方は非線形導波路素子12へ入力される。カプラ33における分岐比は非対称となっており、非線形導波路素子11において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)が非線形導波路素子12において引き起こされる屈折率変化より大きくなる。他方、波長 λ_2 のCW光はポート32へ入力され、カプラ33で分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる非線形位相シフトを受ける。非線形導波路素子11、12を通過したCW光はカプラ34で再び合波されることによりNRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート35から出力される。

【0040】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート35から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のCW光がカプラ34で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0041】

以上の構成は、両アームの光路が異なる点を除いては、図8の従来例2の全光スイッチの構成と同じである。本実施形態の全光スイッチでは、非線形導波路素子11、12に入力される信号光に ΔT の時間差を与えるために、非線形導波路素子12の設置されるアームの方が、非線形導波路素子11の設置されるアームよりも光路が長い。これにより、非線形導波路素子12に入力される信号光に、キャリア寿命よりも小さい値の時間差 ΔT を与える。

【0042】

信号光が入力されると、非線形導波路素子11、12においてそれぞれ非線形屈折率変化が励起される。両アームの光路長は異なるよう設定されていることから、両アームを通過してきた波長 λ_2 の光がカプラ34において合波される際、非線形位相シフトの立ち上がりに時間差 ΔT のずれがある。まず、非線形導波路素子11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトによって両アーム間の位相差が変化し、ポート35からの波長変換光の出力がオンとなる。時間 ΔT の後、非線形導波路素子12を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトが、非線形導波路素子11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトにおける時間 ΔT 経過後の裾引きの部分を相殺することになる。これにより、波長 λ_2 の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

【0043】

波長 λ_1 の信号光入力がオンからオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。すなわち、波長 λ_1 の信号光入力がオフになると、非線形導波路素子11、12におけるキャリア密度は回復し、やはり定常状態へ近づく。その時定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかし、両アームの光路長は異なるよう設定されていることから、まず、非線形導波路素子

11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトが回復していくことによって両アーム間の位相差が初期状態に向かい、ポート35からの波長変換光の出力がオフとなる。時間 ΔT の後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子12を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトも回復していく。したがって、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 λ_2 の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。

【0044】

以上の原理は、第1の実施形態で説明したものと同一である。このようにして、波長 λ_1 のNRZ信号光を入力して波長 λ_2 のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

【0045】

本発明の第3の実施形態の全光スイッチの構成図を図4に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12(SOA)が配置されている。この全光スイッチには、NRZ形式でデータ変調された信号光(波長 λ_1)、および、これと同期したクロック光パルス(波長 λ_2)が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光は、ポート17より入力され3dBカプラ20で分岐された後、一方は、可変遅延回路21、可変減衰器22、3dBカプラ15を通過して非線形導波路素子11へ入力される。他方は、可変減衰器23、3dBカプラ16を通過して非線形導波路素子12へ入力される。可変遅延回路21を調整することにより、非線形導波路素子11、12に入力される信号光には時間差 ΔT がつけられる。信号光は、非線形導波路素子11、12においてキャリア密度を減少させ、非線形導波路素子11、12の屈折率を変化させる。他方、波長 λ_2 のクロック光パルスは、ポート18へ入力され、3dBカプラ13でいったん分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる屈折率変化(非線形位相シフト)を受ける。非線形導波路素子11、12を通過したクロック光パルスは、3dBカプラ14で再び合波されることによりRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート19から出力される。

【0046】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート19から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のクロック光パルスが3dBカプラ14で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0047】

以上の構成は、CW光のかわりにクロック光パルスが用いられ、NRZからRZへの変換が行われる点を除いては、図1の第1の実施形態の全光スイッチの構成と同じである。したがって、クロック光パルスに対するスイッチングウィンドウは、第1の実施形態で説明したCW光に対するスイッチ出力波形と同じとなる。

【0048】

信号光が全光スイッチへ入力されると、まず非線形導波路素子11へ信号光が入力され、時間 ΔT 経過後に非線形導波路素子12へより低い強度の信号光が入力される。これにより、スイッチングウィンドウがオンとなる過程において、非線形導波路素子11での非線形屈折率変化における裾引きの部分が、非線形導波路素子12での非線形屈折率変化によって相殺されることになる。すなわち、波長 λ_2 のクロック光パルスがオンとなる動作において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。波長 λ_1 の信号光入力が入力からオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。すなわち、波長 λ_1 の信号光入力が入力からオフになると、非線形導波路素子11におけるキャリア密度は回復し、やはり定常状態へ近づく。その時定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかし、時間 ΔT の後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子12への信号光入力もオフとなり、キャリア密度の回復が始まる。したがって、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 λ_2 のクロック光パルスがオフとなる動作においてキャリア密度変化の裾引きの

影響は現われない。以上の原理は、第1の実施形態で説明したものと同一である。このようにして、波長 λ_1 のNRZ信号光を入力して波長 λ_2 のRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

【0049】

本発明は、信号光とCW光が逆方向に伝搬する構成への適用も可能である。この場合、信号光とCW光は同じ波長であってもよい。本発明の第4の実施形態の全光スイッチの構成図を図5に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12(SOA)が配置されている。この全光スイッチには、NRZ形式でデータ変調された信号光(波長 λ_1)、および、無変調の連続(CW)光(波長 λ_2)を入力する。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光は、ポート17より入力され3dBカプラ20で分岐された後、一方は、可変遅延回路21、可変減衰器22、3dBカプラ15を通過して非線形導波路素子11へ入力される。他方は、可変減衰器23、3dBカプラ16を通過して非線形導波路素子12へ入力される。可変遅延回路21を調整することにより、非線形導波路素子11、12に入力される信号光には時間差 ΔT がつけられる。信号光は、非線形導波路素子11、12においてキャリア密度を減少させ、非線形導波路素子11、12の屈折率を変化させる。他方、波長 λ_2 のCW光は、ポート18へ入力され、3dBカプラ13でいったん分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる屈折率変化(非線形位相シフト)を受ける。非線形導波路素子内において、CW光は信号光と逆方向に伝搬することになる。非線形導波路素子11、12を通過したCW光は、3dBカプラ14で再び合波されることによりNRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート19から出力される。

【0050】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート19から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のCW光が3dBカプラ14で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0051】

以上の構成は、信号光とCW光が逆方向に伝搬する点を除けば、図1の第1の実施形態の全光スイッチと同じである。

【0052】

信号光が入力され、非線形導波路素子11において非線形屈折率変化が励起されると、非線形導波路素子11を通過する波長 λ_2 のCW光が非線形位相シフトを受け、ポート19からの波長 λ_2 の光出力がオンとなる。非線形位相シフト量は、時間 ΔT 経過するまでに少なくとも $\pi/2$ 程度であり、 π に近いほうが望ましい。時間 ΔT の後、波長 λ_1 の信号光が非線形導波路素子12にも入力され、キャリア密度を減少させるとともに屈折率を変化させる。すなわち、非線形導波路素子12を通過する波長 λ_2 のCW光も非線形位相シフトを受ける。この非線形位相シフトは、非線形導波路素子11で生じていた非線形位相シフトと同符号であるが小さな値である。したがって、非線形導波路素子11において非線形位相シフトが生じてから時間 ΔT 経過した以降の裾引きの部分を相殺することになる。これにより、波長 λ_2 の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

【0053】

また、本発明による全光スイッチでは、波長 λ_1 の信号光入力オンからオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。すなわち、波長 λ_1 の信号光入力オフになると、非線形導波路素子11におけるキャリア密度は回復し、やはり定常状態へ近づく。その時定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかし、時間 ΔT の後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子12への信号光入力もオフとなり、キャリア密度の回復が始まる。したがって、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 λ_2 の

光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。以上の原理は、第1の実施形態で説明したものと同一である。このようにして、波長 λ_1 のNRZ信号光を入力して波長 λ_2 のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

【0054】

なお、第4の実施形態においても、CW光のかわりにクロックパルス光を用いれば、NRZ-RZ変換が可能になる。

【0055】

本発明の第5の実施形態の全光スイッチの構成図を図6に示す。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに非線形導波路素子11、12(SOA)が配置されている。この全光スイッチには、NRZ形式でデータ変調された信号光(波長 λ_1)、および、無変調の連続(CW)光(波長 λ_2)が入力される。波長 λ_1 、波長 λ_2 はいずれもSOAの利得領域に設定される。信号光は、ポート31へ入力されカプラ34で分岐された後、一方は非線形導波路素子11へ入力され、他方は非線形導波路素子12へ入力される。両アームにおける非線形導波路素子の位置は、カプラ34からの光路長が異なるように置かれる。すなわち、カプラ34から非線形導波路素子11までの光路長 L_1 は、カプラ34から非線形導波路素子12までの光路長 L_2 よりも短い。カプラ34における分岐比は非対称となっており、非線形導波路素子11において引き起こされる屈折率変化(非線形位相シフト)が非線形導波路素子12において引き起こされる屈折率変化より大きくなる。他方、波長 λ_2 のCW光はポート32へ入力され、カプラ33で分岐された後、非線形導波路素子11、12で生じる非線形位相シフトを受ける。非線形導波路素子内において、CW光は信号光と逆方向に伝搬することになる。非線形導波路素子11、12を通過したCW光はカプラ34で再び合波されることによりNRZデータ変調光となり、波長変換光としてポート35から出力される。

【0056】

マッハ・ツェンダー型光回路においては、位相調整器24、25を用いることにより、波長 λ_1 の信号光の入力がない場合に、波長 λ_2 の出力光がポート35から出力されないように設定される。すなわち、波長 λ_1 の信号光パルスの入力がない場合に、両アームを通過した波長 λ_2 のCW光がカプラ34で干渉する際の位相差は半波長となるように設定される。

【0057】

信号光が入力されると、非線形導波路素子11、12においてそれぞれ非線形屈折率変化が励起される。カプラ34から非線形導波路素子11までの光路長 L_1 は、カプラ34から非線形導波路素子12までの光路長 L_2 よりも短い。両アームを通過してきた波長 λ_2 の光がカプラ34において合波される際、非線形位相シフトの立ち上がりにより時間差 $\Delta T = (L_2 - L_1) / v_g$ のずれがある。ここで v_g は群速度である。まず、非線形導波路素子11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトによって両アーム間の位相差が変化し、ポート35からの波長変換光の出力がオンとなる。時間 ΔT の後、非線形導波路素子12を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトが、非線形導波路素子11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトにおける時間 ΔT 経過後の裾引きの部分と相殺することになる。これにより、波長 λ_2 の光出力がオフからオンに切り替わる過程において、キャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。

【0058】

波長 λ_1 の信号光入力があるからオフに切り替わる過程においても同様にキャリア寿命に起因する裾引きが抑制される。すなわち、波長 λ_1 の信号光入力があるからオフになると、非線形導波路素子11、12におけるキャリア密度は回復し、やはり定常状態へ近づく。その時定数はキャリア寿命で定まり、キャリア密度の時間変化は裾引きを示すことになる。しかし、両アームの光路長は異なるよう設定されていることから、まず、非線形導波路素子11を通過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトが回復していくことによって両アーム間の位相差が初期状態に向かい、ポート35からの波長変換光の出力がオフとなる。時間 ΔT の後、両アーム間の位相差がほぼ初期状態に戻った時点で、非線形導波路素子12を通

過した波長 λ_2 の光の非線形位相シフトも回復していく。したがって、これ以降は両アームの位相差の変化は抑制され、波長 λ_2 の光出力にはキャリア密度変化の裾引きの影響は現われない。以上の原理は、第1の実施形態で説明したものと同一である。このようにして、波長 λ_1 のNRZ信号光を入力して波長 λ_2 のNRZ出力光を得る波長変換動作が実現される。

【0059】

なお、第5の実施形態においても、CW光のかわりにクロックパルス光を用いれば、NRZ-RZ変換が可能になる。

【0060】

なお、本発明の全光スイッチに関して、両アームで生じる非線形位相シフトが異なるようにする方法として、両アームの非線形導波路素子に入力する信号光強度が異なるようにする方法を説明した。非線形導波路素子としてSOAを用いる場合には、両アームで生じる非線形位相シフトが異なるようにする方法として、位相シフトと利得変化の比（アルファ・パラメタ）が異なるSOAを用いる方法、微分利得係数が異なるSOAを用いる方法、注入電流量が異なるSOAを用いる方法、光閉じ込め係数が異なるSOAを用いる方法がある。

【0061】

また、上記に説明した両アームに非線形導波路素子を有するマッハ・ツェンダー光回路は、半導体上にモノリシック集積されたものでもよく、半導体非線形導波路素子を石英系等の材料で作成される平面光回路にハイブリッド集積されたものでもよい。また、ディスクリットな光部品により構成されたものでもよい。

【図面の簡単な説明】**【0062】**

【図1】 本発明の第1の実施形態の全光スイッチの構成図である。

【図2】 本発明の第1の実施形態の全光スイッチの動作を示す波形図である。

【図3】 本発明の第2の実施形態の全光スイッチの構成図である。

【図4】 本発明の第3の実施形態の全光スイッチの構成図である。

【図5】 本発明の第4の実施形態の全光スイッチの構成図である。

【図6】 本発明の第5の実施形態の全光スイッチの構成図である。

【図7】 従来例1の全光スイッチの構成図である。

【図8】 従来例2の全光スイッチの構成図である。

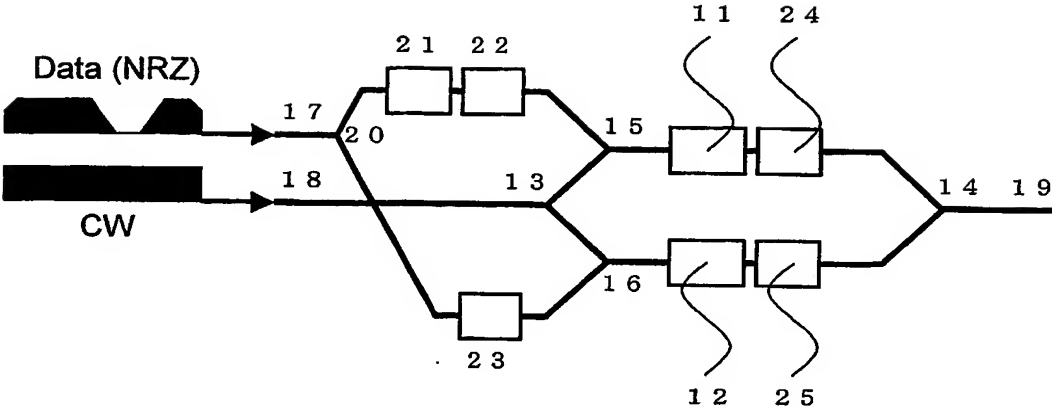
【符号の説明】**【0063】**

- 11 非線形導波路素子
- 12 非線形導波路素子
- 13 3dBカップラ
- 14 3dBカップラ
- 15 波長選択カップラ
- 16 波長選択カップラ
- 17 データ変調信号光入力ポート
- 18 CW光またはクロック光入力ポート
- 19 出力ポート
- 20 3dBカップラ
- 21 可変遅延回路
- 22 可変減衰器
- 23 可変減衰器
- 24 位相調整器
- 25 位相調整器
- 31 データ変調信号光入力ポート
- 32 CW光入力ポート

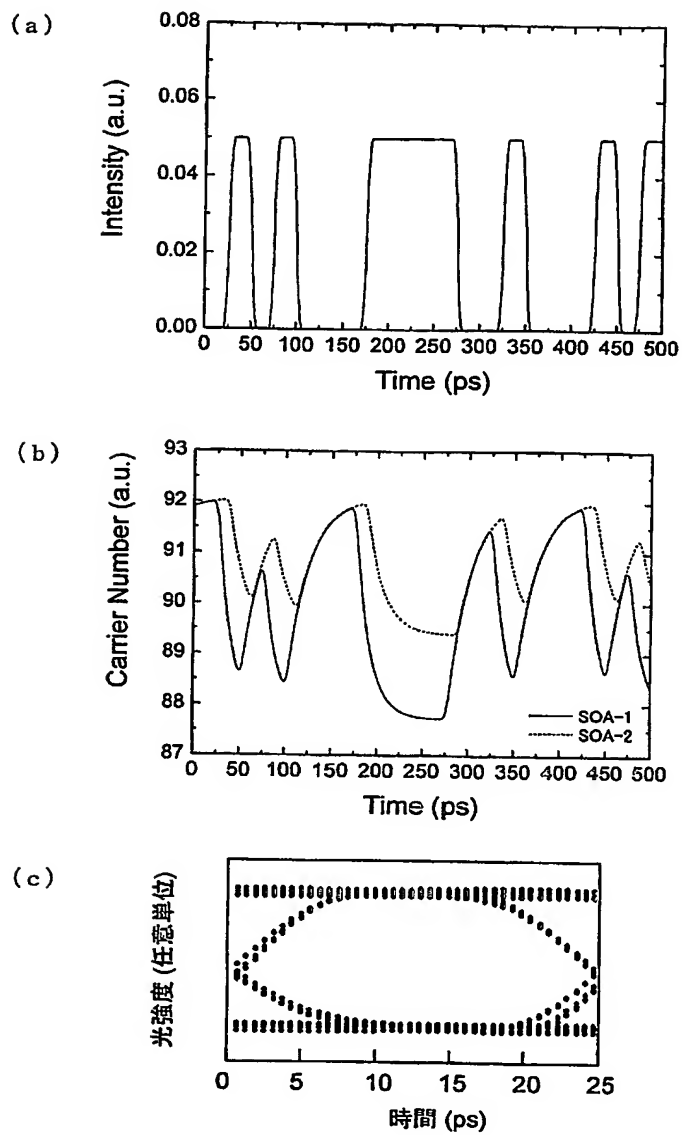


3 3 カブラ
3 4 カブラ
3 5 出力ポート

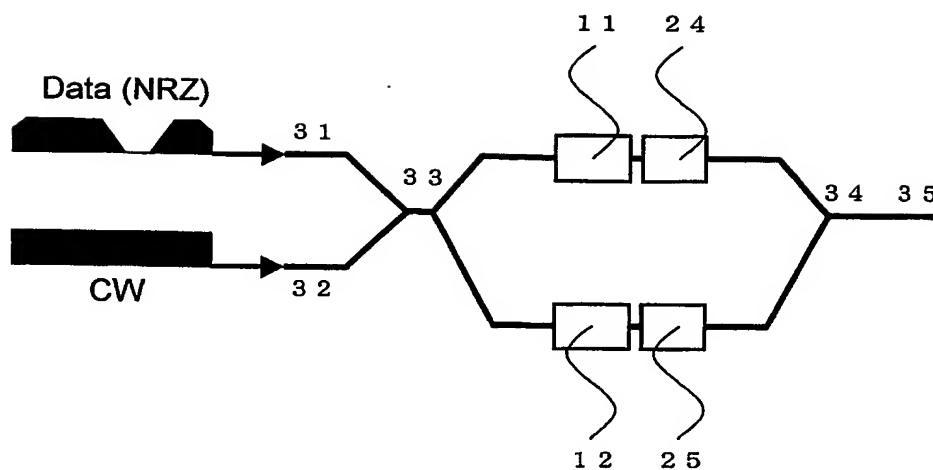
【書類名】 図面
【図 1】



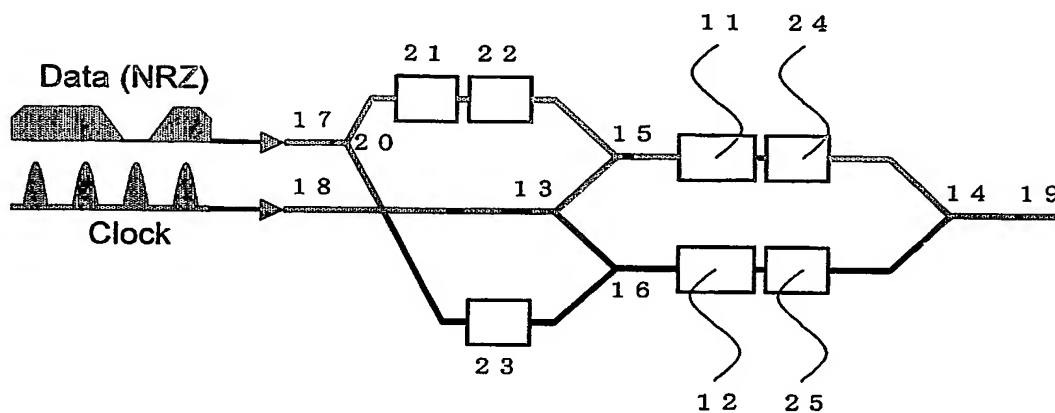
【図 2】



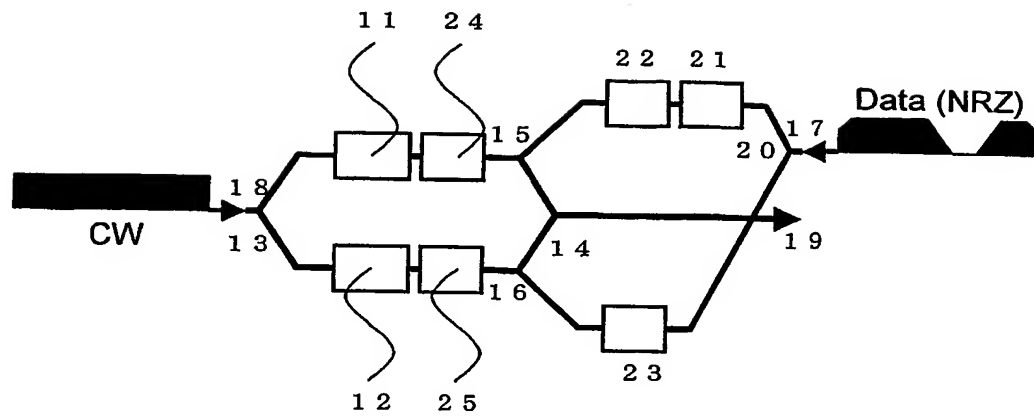
【図 3】



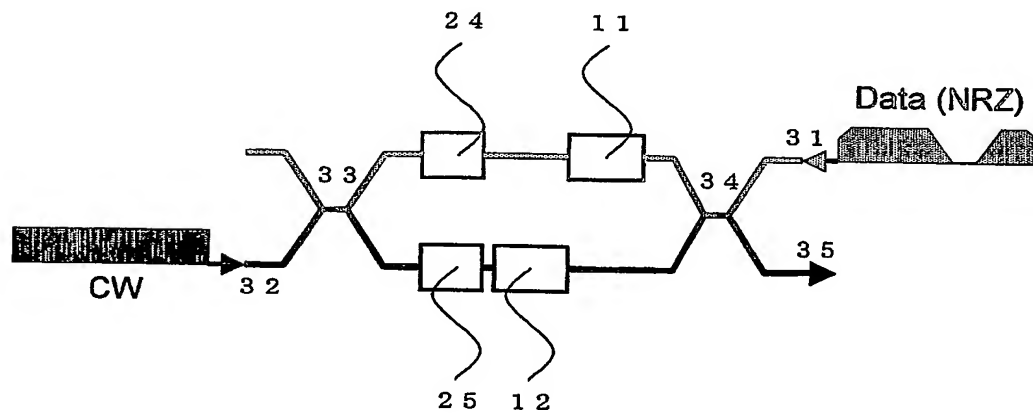
【図 4】



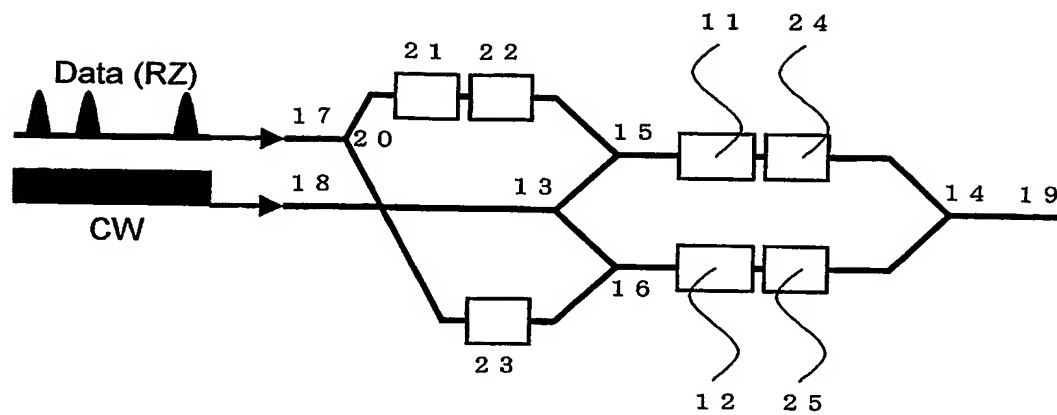
【図 5】



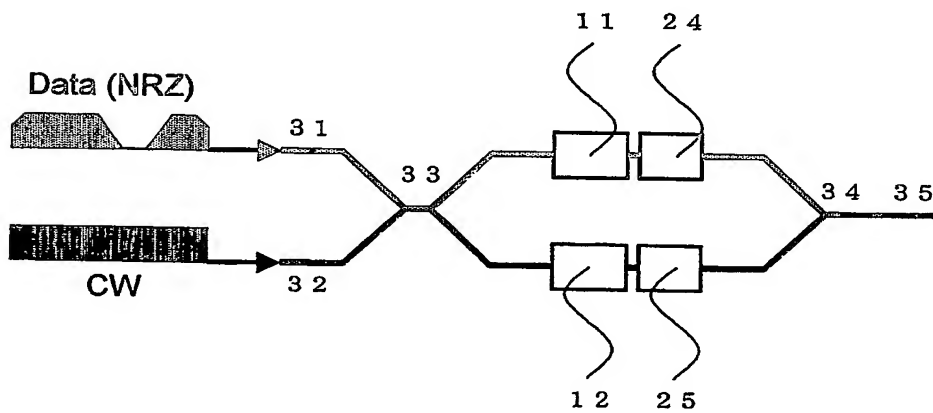
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 高いビットレートのNRZデータ変調信号光により駆動される全光スイッチにおいて、波形歪の小さい動作を実現する。

【解決手段】 全光スイッチには、NRZデータ変調信号光がポート17より入力され、CW光がポート18より入力される。マッハ・ツェンダー型光回路の両アームに配置された非線形導波路素子11、12では、光増幅に伴うキャリアの減少により屈折率変化が生じる。したがって、ポート18より入力されたCW光が、非線形位相シフトを受け、波長変換されたNRZデータ変調光として出力される。ここで、非線形導波路素子11、12に入力されるNRZ信号光には、時間差および強度差が与えられる。これにより、波長変換光がオフからオンに切り替わる過程、および、オンからオフに切り替わる過程において、非線形屈折率変化の緩和時間に起因する波形歪が抑制される。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 3 - 2 9 7 3 3 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 3 7]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

氏 名

日本電気株式会社